

Белорусский государственный университет

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по учебной работе  
и образовательным инновациям

 О.И. Чуприс

Регистрационный № Д- 5349 /уч.

## **КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНДЕНСИРОВАННЫХ СИСТЕМ**

Учебная программа учреждения высшего образования  
по учебной дисциплине для специальности  
1-31 81 01 – Физика конденсированного состояния

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 04 81 01-2012 и учебного плана № G-31-239/уч от 26.05.2017 г.

**СОСТАВИТЕЛЬ:**

**Н.Н. Дорожкин** — доцент кафедры физики твердого тела Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент.

**РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:**

Кафедрой физики твердого тела физического факультета Белорусского государственного университета

(протокол № 12 от 27 июня 2018 г.);

Ученым Советом физического факультета Белорусского государственного университета

(протокол № 12 от 28 июня 2018 г.);

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Программа учебной дисциплины «Компьютерное моделирование конденсированных систем» разработана для специальности 1-31 81 01 – Физика конденсированного состояния (компонент УВО).

**Цель учебной дисциплины** — ознакомление студентов с основами компьютерного моделирования в физике твердого тела.

**Основные задачи учебной дисциплины** — дать представление о роли компьютеров в современной физике, основных методах компьютерного моделирования и областях их применения, продемонстрировать особенности применения основных методов компьютерного моделирования в физике конденсированного состояния, научить студентов применять компьютерное моделирование в их научно-исследовательской работе.

Метод компьютерного моделирования является как инструментом для научных исследований, так и методом образования. Этот метод способствует развитию исследовательского обучения, приближению процесса обучения к научному поиску, что является принципиально важным с точки зрения педагогики. Такой подход позволит ускорить достижение заданного уровня знаний и создать необходимую мотивацию для познавательной деятельности.

Численное моделирование составляет неотъемлемую часть современной фундаментальной и прикладной науки, причем по важности оно приближается к традиционным экспериментальным и теоретическим методам. Поэтому будущие научные работники, инженеры и преподаватели обязательно должны владеть технологией компьютерного моделирования, уметь исследовать различные физические явления и процессы с помощью компьютера.

Суть метода компьютерного моделирования заключается в том, что создается математическая модель процесса. Благодаря замене реального объекта соответствующей ему моделью, появляется возможность сформулировать задачу его изучения как математическую и воспользоваться для анализа универсальным математическим аппаратом, который не зависит от конкретной природы объекта.

Настоящая программа состоит из трех частей. Первая часть посвящена роли компьютеров в физике и общим вопросам компьютерного моделирования многочастичных систем. Рассматривается стохастическое моделирование методом Монте Карло и детерминистическое (динамическое) моделирование методом молекулярной динамики. Здесь же на примере одномерного уравнения Шредингера рассматривается моделирование квантовых систем.

Во второй части рассматривается применение компьютерного моделирования в физике твердого тела. Основное внимание уделено моделированию пробегов ионов в твердых телах (методы МК и МД), моделированию электронной структуры твердых тел и моделированию дефектов и

примесей. Рассмотрены также вопросы моделирования диффузионных процессов в твердых телах.

В третью часть программы включены вопросы моделирование структуры и свойств наноразмерных систем.

Курс базируется на курсах общей и теоретической физики, высшей математики и основных курсах по физике твердого тела.

*В результате изучения дисциплины магистрант должен:*

**знать:**

- основные методы компьютерного моделирования физических систем;
- особенности моделирования физических систем;

**уметь:**

- анализировать компьютерные модели физических процессов;
- уметь применять на практике программы общего и специального назначения для моделирования физических процессов в конденсированных системах;

**владеть:**

- принципами разработки компьютерных программ для моделирования физических процессов в конденсированных системах;
- навыками анализа результатов компьютерного моделирования.

Программа курса составлена в соответствии с требованиями образовательного стандарта. Форма получения высшего образования – очная, дневная.

В результате изучения дисциплины магистрант должен обладать следующими компетенциями.

#### **Требования к академическим компетенциям магистра**

Магистр должен быть способным:

- АК-1. Осуществлять самостоятельную научно-исследовательскую деятельность (включая анализ, сопоставление, систематизацию, абстрагирование, моделирование, проверку достоверности данных, принятие решений и др.).
- АК-2. Применять методологические знания и исследовательские умения, обеспечивающие постановку и решение задач научно-исследовательской, научно-педагогической, управленческой и инновационной деятельности.
- АК-3. Использовать междисциплинарный подход при решении проблем.
- АК-4. Применять технические устройства и компьютеры для решения профессиональных задач в области физики и техники.
- АК-5. Постоянно повышать свою квалификацию.

#### **Требования к социально-личностным компетенциям магистра**

Магистр должен:

- СЛК-3. Анализировать и принимать решения по научным и техническим проблемам, возникающим в профессиональной деятельности.

#### **Требования к профессиональным компетенциям магистра**

Магистр должен быть способен:

***Научно-педагогическая и учебно-методическая деятельность***

ПК-4. Разрабатывать и использовать современное учебно-методическое обеспечение.

***Научно-исследовательская деятельность***

ПК-5. Формулировать и решать задачи в области физического эксперимента.

ПК-6. Квалифицированно проводить теоретические исследования в области физики конденсированного состояния.

ПК-7. Использовать новейшие открытия в естествознании, физические основы современных технологических процессов, включая нанотехнологии.

ПК-8. Пользоваться глобальными информационными ресурсами.

***Производственно-технологическая деятельность***

ПК-9. Применять знания основ физики конденсированного состояния, методов исследования материалов, методов измерения физических величин, методов автоматизации эксперимента, методов планирования, организации и ведения научно-производственной, производственно-технической, опытно-конструкторской работы.

ПК-10. Осуществлять на основе методов математического моделирования оценку эксплуатационных параметров материалов и технологических процессов их получения.

ПК-11. Пользоваться компьютерными методами сбора, хранения и обработки информации, системами автоматизированного программирования, технической и патентной литературой.

ПК-12. Взаимодействовать со специалистами смежных профилей.

***Организационно-управленческая деятельность***

ПК-13. Принимать оптимальные управленческие решения.

ПК-14. Осваивать и реализовывать управленческие инновации в сфере высоких технологий.

***Инновационная деятельность***

ПК-15. Осуществлять поиск, систематизацию и анализ информации по перспективам развития физики и техники, инновационным технологиям, проектам и решениям.

ПК-16. Определять цели инноваций и способы их достижения.

Программа курса составлена в соответствии с требованиями образовательного стандарта. Форма получения высшего образования — очная, дневная. Общее количество часов — 154; аудиторное количество часов — 54, из них: лекции — 50 часов, УСП — 4 часа. Форма отчётности — экзамен.

## СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

### Часть I. Общие вопросы компьютерного моделирования

#### 1. Роль компьютеров в физике

Области применения компьютеров в физике: компьютерное моделирование (эксперимент), численный анализ, автоматизация физического эксперимента, аналитические вычисления и другие применения компьютеров (базы данных, интернет и др.).

Стохастические и детерминистические методы моделирования. Основные методы компьютерного моделирования: метод молекулярной динамики (МД), метод Монте-Карло (МК) или статистических испытаний, кинетический метод (КМ).

Краткая история развития компьютерного моделирования.

#### 2. Метод Монте-Карло для моделирования многочастичных систем

Применение метода Монте-Карло для численного интегрирования. Равномерное и неравномерное распределение случайного числа. Генераторы случайных чисел. Идея предпочтительной выборки. Случайные блуждания. Алгоритмы получения заданного распределения. Метод Метрополиса получения заданного распределения.

Статистические ансамбли. Метод МК для микроканонического ансамбля. Моделирование одномерной и двумерной моделей Изинга.

Метод МК для канонического ансамбля. Моделирование одномерной, двумерной и трехмерной моделей Изинга. Реализация алгоритма Метрополиса. Критические индексы. Влияние размеров моделируемой системы на критические свойства.

Метод МК для ансамбля с постоянными температурой и давлением.

#### 3. Метод классической молекулярной динамики (МД) и молекулярной статистики (МС)

Уравнения движения в методе МД. Силы и потенциалы межатомного взаимодействия. Парные потенциалы: Леннарда-Джонса, Морзе и другие. Многочастичные потенциалы: модель погруженного атома, потенциал Стиллинджера-Вебера, потенциал Саттон-Чена. Обрезание потенциала.

Граничные условия. Задание начальных положений и скоростей частиц. Интегрирование уравнений движения. Выбор шага в методе МД. Расчет термодинамических величин. Численные алгоритмы метода МД и его компьютерная реализация. Программы, реализующие метод МД.

Метод молекулярной статистики (МС). Численные алгоритмы вариационного метода и его компьютерная реализация. Программы, реализующие Метод молекулярной статистики.

Моделирование методом МД фазовых переходов в металлах.

Атомистическое моделирование теплофизических свойств конденсированных систем.

Моделирование теплового расширения твердых тел методом МД.

#### **4. Компьютерное моделирование квантовых систем**

Связанные состояния одномерного уравнения Шредингера. Нестационарное уравнение Шредингера и метод случайных блужданий. Квантовый метод Монте-Карло для одномерного уравнения Шредингера.

### **Часть II. Компьютерное моделирование в физике твердого тела**

#### **5. Моделирование пробегов ионов в твердых телах**

Применение метода классической МД для моделирования низкоэнергетических каскадов. Программы MDCASK и Kalypso.

Модель бинарных соударений и метод Монте-Карло для моделирования пробегов ионов. Программа SRIM/TRIM.

#### **6. Компьютерное моделирование электронной структуры твердых тел**

Зонная и кластерная модели электронной структуры. Методы расчета электронной структуры.

Метод первопринципной МД.

Квантовый метод Монте-Карло для многоэлектронных систем.

Численные алгоритмы и компьютерные программы, реализующие современные методы зонной и кластерной моделей.

#### **7 Применение методов компьютерного эксперимента к моделированию дефектов в кристаллах**

Моделирование междоузельных атомов и вакансий в твердых телах методами классической и первопринципной МД.

Моделирование примесей в твердых телах: примеси внедрения, примеси замещения, примесно-вакансионные комплексы, комплексы примесных и междоузельных атомов.

#### **8. Применение методов компьютерного эксперимента к моделированию механических и упругих свойств твердотельных структур**

Вычисление уравнения состояния, модулей упругости и теоретической прочности твердых тел методами классической молекулярной статики и функционала плотности.

#### **9. Моделирование диффузионных процессов в жидкостях и твердых телах**

Применение методов МД и МК для моделирования диффузии в жидкостях и твердых телах. Численные алгоритмы и компьютерные программы для моделирования диффузии.

### **Часть III. Компьютерное моделирование структуры и свойств наноразмерных систем**

#### **10. Моделирование структуры фуллереноподобных частиц**

Построение атомных моделей фуллеренов. Применение методов компьютерного моделирования для оптимизации структуры фуллереноподобных частиц. Моделирование электронной структуры фуллеренов методами квантовой химии.

#### **11. Моделирование термодинамических и структурных свойств нанокластеров металлов**

Моделирование процессов плавления и кристаллизации нанокластеров. Анализ термической стабильности нанокластеров металлов. Влияние скорости охлаждения на формирование структуры нанокластеров.

## **12. Моделирование структуры и свойств нанотрубок**

Построение атомных моделей нанотрубок (НТ). Применение методов компьютерного моделирования для оптимизации структуры НТ. Моделирование механических свойств НТ методами МД и квантовой химии. Моделирование электронной структуры НТ.

## **13. Моделирование структуры и свойств двумерных структур**

Построение атомных моделей поверхности, межфазных границ и графена. Применение методов компьютерного моделирования для исследования свойств двумерных структур.



## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА ДИСЦИПЛИНЫ

Номер раздела, темы,	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов				Количество часов УСР	Литература	Формы контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские Занятия	Лабораторные занятия			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>1</b>	<b>Роль компьютеров в физике</b>	<b>2</b>						
	<p>Области применения компьютеров в физике: компьютерное моделирование (эксперимент), численный анализ, автоматизация физического эксперимента, аналитические вычисления и другие применения компьютеров (базы данных, интернет и др.).</p> <p>Стохастические и детерминистические методы моделирования. Основные методы компьютерного моделирования: метод молекулярной динамики (МД), метод Монте-Карло (МК) или статистических испытаний, кинетический метод (КМ).</p> <p>Краткая история развития компьютерного моделирования.</p>	2				2	[1-2]	Защита рефератов
<b>2</b>	<b>Метод Монте-Карло для моделирования многочастичных систем</b>	<b>6</b>						

2.1	Применение метода Монте-Карло для численного интегрирования. Равномерное и неравномерное распределение случайного числа. Генераторы случайных чисел. Идея предпочтительной выборки. Случайные блуждания. Алгоритмы получения заданного распределения. Метод Метрополиса получения заданного распределения.	2					[1-4]	
2.2	Статистические ансамбли. Метод МК для микростатистического ансамбля. Моделирование одномерной и двумерной моделей Изинга.	2					[1-4]	
2.3	Метод МК для канонического ансамбля. Моделирование одномерной, двумерной и трехмерной моделей Изинга. Реализация алгоритма Метрополиса. Критические индексы. Влияние размеров моделируемой системы на критические свойства. Метод МК для ансамбля с постоянными температурой и давлением.	2					[1-4]	
<b>3</b>	<b>Методы классической молекулярной динамики (МД) и молекулярной статики (МС)</b>	<b>12</b>						
3.1	Уравнения движения в методе МД. Силы и потенциалы межатомного взаимодействия. Парные потенциалы: Леннарда-Джонса, Морзе и другие. Многочастичные потенциалы: модель погруженного атома, потенциал Стиллинджера-Вебера, потенциал Саттон-Чена. Обрезание потенциала.	2					[1-2,10]	
3.2	Граничные условия. Задание начальных поло-	2					[1-2,10]	

	жений и скоростей частиц. Интегрирование уравнений движения. Выбор шага в методе МД. Расчет термодинамических величин. Численные алгоритмы метода МД и его компьютерная реализация. Программы, реализующие метод МД.							
3.3	Метод молекулярной статики (МС). Численные алгоритмы вариационного метода и его компьютерная реализация. Программы, реализующие метод молекулярной статики.	2					[1-2,10]	
3.4	Моделирование методом МД фазовых переходов в металлах.	2					[10]	
3.5	Атомистическое моделирование теплофизических свойств конденсированных систем.	2				2	[10]	Тестовые задания
3.6	Моделирование теплового расширения твердых тел методом МД.	2					[10]	
<b>4</b>	<b>Компьютерное моделирование квантовых систем</b>	<b>2</b>						
	Связанные состояния одномерного уравнения Шредингера. Нестационарное уравнение Шредингера и метод случайных блужданий. Квантовый метод Монте-Карло для одномерного уравнения Шредингера.	2					[1-2,4]	
<b>5</b>	<b>Моделирование пробегов ионов в твердых телах</b>	<b>4</b>						
	Применение метода классической МД для моделирования низкоэнергетических каскадов. Программы MDCASK и Kalypso.	2					[1-2,10]	
	Модель бинарных соударений и метод Монте-	2					[13,14,10]	

	Карло для моделирования пробегов ионов. Программа SRIM/TRIM.							
<b>6</b>	<b>Компьютерное моделирование электронной структуры твердых тел</b>	<b>8</b>						
	Зонная и кластерная модели электронной структуры. Методы расчета электронной структуры.	2					[5-11]	
	Метод первопринципной МД.	2					[9]	
	Квантовый метод Монте-Карло для многоэлектронных систем.	2					[11]	
	Численные алгоритмы и компьютерные программы, реализующие современные методы зонной и кластерной моделей.	2					[5-11]	
<b>7</b>	<b>Применение методов компьютерного эксперимента к моделированию дефектов в кристаллах</b>	<b>4</b>					[8]	
	Моделирование междоузельных атомов и вакансий в твердых телах методами классической и первопринципной МД.	2					[8]	
	Моделирование примесей в твердых телах: примеси внедрения, примеси замещения, примесно-вакансионные комплексы, комплексы примесных и междоузельных атомов.	2					[8]	
<b>8</b>	<b>Применение методов компьютерного эксперимента к моделированию механических и упругих свойств твердотельных структур</b>	<b>2</b>						

	Вычисление уравнения состояния, модулей упругости и теоретической прочности твердых тел методами классической молекулярной статистики и функционала плотности.	2					[10]	
<b>9</b>	<b>Моделирование диффузионных процессов в жидкостях и твердых телах</b>	<b>2</b>						
	Применение методов МД и МК для моделирования диффузии в жидкостях и твердых телах. Численные алгоритмы и компьютерные программы для моделирования диффузии.	2					[10]	
<b>10</b>	<b>Моделирование структуры фуллереноподобных частиц</b>	<b>2</b>						
	Построение атомных моделей фуллеренов. Применение методов компьютерного моделирования для оптимизации структуры фуллереноподобных частиц. Моделирование электронной структуры фуллеренов методами квантовой химии.	2					[15-18]	
<b>11</b>	<b>Моделирование термодинамических и структурных свойств нанокластеров металлов</b>	<b>2</b>						
	Моделирование процессов плавления и кристаллизации нанокластеров. Анализ термической стабильности нанокластеров металлов. Влияние скорости охлаждения на формирование структуры нанокластеров.	2					[15-18]	
<b>12</b>	<b>Моделирование структуры и свойств нанотрубок</b>	<b>2</b>						
	Построение атомных моделей нанотрубок (НТ). Применение методов компьютерного модели-	2					[15-18]	

	рования для оптимизации структуры НТ. Моделирование механических свойств НТ методами МД и квантовой химии. Моделирование электронной структуры НТ.							
<b>13</b>	<b>Моделирование структуры и свойств двумерных структур</b>	<b>2</b>						
	Построение атомных моделей поверхности, межфазных границ и графена. Применение методов компьютерного моделирования для исследования свойств двумерных структур.	2					[15-18]	
	Всего часов	<b>50</b>				<b>4</b>		
	<b>Форма отчетности</b>							Экзамен

**ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ****Рекомендуемая литература**

1. **Гулд, Х.** Компьютерное моделирование в физике (в 2-х томах) / Х. Гулд, Я. Тобочник. – М.: «Мир», 1990. – 752 с.
2. **Хеерман, Д.В.** Методы компьютерного эксперимента в теоретической физике / Д.В. Хеерман. – М.: «Мир», 1990. – 176 с.
3. **Биндер, К.** Моделирование методом Монте-Карло в статистической физике / К. Биндер, Д. В. Хеерман— М.: Наука. Физматлит, 1995. — 144 с.
4. **Кунин, С.** Вычислительная физика / С. Кунин. – М.: «Мир», 1992. – 518 с.
5. Теория неоднородного электронного газа / Под ред. С. Лундквиста и Н. Марча. – М.: Мир, 1987. 400 с.
6. **Сатанин, А.М.** Введение в теорию функционала плотности. Учебно-методическое пособие / А.М. Сатанин. Нижний Новгород, 2009, 64 с.
7. **Немошкаленко, В.В.** Методы вычислительной физики в теории твердого тела. Зонная теория металлов / В.В. Немошкаленко, В.Н. Антонов. К.: Наук. думка, 1985, 408 с.
8. **Немошкаленко, В.В.** Методы вычислительной физики в теории твердого тела. Электронные состояния в неидеальных кристаллах / В.В. Немошкаленко, Ю.Н. Кучеренко К.: Наук. думка., 1986. –296 с.
9. **Marx, D.** Ab Initio Molecular Dynamics. Basic Theory and Advanced Methods / D. Marx, J. Hutter. – С.: Cambridge University Press, 2009. – 567 p.
10. **Дорожкин Н. Н.** Компьютерное моделирование в физике твердого тела: лаб. практикум для студентов физ. фак. / Н. Н. Дорожкин, Н. Г. Якутович. Минск: БГУ, 2010. 107 с. ISBN 978-985-518-330-4.
11. **Кашурников, В.А.** Вычислительные методы в квантовой физике: учебное пособие / В.А. Кашурников, А.В. Красавин М.: МИФИ, 2005. – 412 с.
12. **Ивановский, А.Л.** Квантовая химия в материаловедении. Нанотрубчатые формы вещества. / А.Л. Ивановский. Изд-во УрО РАН, Екатеринбург, 1999, 176 с.
13. **Аккерман, А.Ф.** Моделирование траекторий заряженных частиц в веществе / А.Ф. Аккерман. М. Энергоатомиздат. – 1991. 200 с.
14. **Ziegler, J. F.** The Stopping and Range of Ions in Solids / J. F. Ziegler, J. P. Biersack and U. Littmark. – Pergamon Press, New York, 1985. – p.
15. **Мазуренко, В.В.** Моделирование физических свойств наноматериалов на базе параллельных алгоритмов: учебное пособие / В.В. Мазуренко, А.Н. Руденко, В.Г. Мазуренко. – Екатеринбург, 2009. – 77 с. ISBN.
16. **Ивановский, А.Л.** Квантовая химия в материаловедении. Нанотрубчатые формы вещества. / А.Л. Ивановский. Изд-во УрО РАН, Екатеринбург, 1999, 176 с.
17. **Ивановская, А.Л.** О некоторых направлениях компьютерного материаловедения неорганических наноструктур / В.В. Ивановская, А.Л. Ивановский // Наноструктуры. Математическая физика и моделирование. – 2009. –т. 1. –№ 1. с. 7–24.
18. **Сорокин, П. Б.** Теоретические исследования физико-химических свойств низкоразмерных структур / Диссертация на соискание учёной степени доктора физико-математических наук. Москва, 2014. – 324 с.

## **Перечень используемых средств диагностики результатов учебной деятельности**

1. Тестовые задания
2. Защита рефератов
3. Экзамен

### **Примерный перечень заданий по управляемой самостоятельной работе студентов**

1. Тестовые задания по темам:
  1. Роль компьютеров в физике.
  2. Метод Монте-Карло для моделирования многочастичных систем.
  3. Метод классической молекулярной динамики.
  4. Метод молекулярной статики.
  4. Компьютерное моделирование квантовых систем.
  5. Моделирование пробегов ионов в твердых телах
  5. Компьютерное моделирование электронной структуры твердых тел
2. Реферативные работы по темам:
  1. Компьютерное моделирование электронной структуры твердых тел.
  2. Применение методов компьютерного эксперимента к моделированию дефектов в кристаллах.
  3. Применение методов компьютерного эксперимента к моделированию механических и упругих свойств твердотельных структур.
  4. Моделирование диффузионных процессов в жидкостях и твердых телах.
  5. Моделирование структуры фуллереноподобных частиц.
  6. Моделирование термодинамических и структурных свойств нанокластеров металлов.
  7. Моделирование структуры и свойств нанотрубок.
  8. Моделирование структуры и свойств двумерных структур.

### **Рекомендации по контролю качества усвоения знаний и проведению аттестации**

Организация текущего контроля и текущей аттестации знаний студентов по учебной дисциплине осуществляется в соответствии с Положением о рейтинговой системе оценки знаний по дисциплине в Белорусском государственном университете (утверждено приказом ректора БГУ от 18 августа 2015 г. № 382-ОД).

Для текущего контроля качества усвоения знаний по дисциплине рекомендуется использовать письменные тесты и защиту реферативных работ. Контрольные мероприятия проводятся в соответствии с учебно-методической картой дисциплины. В случае неявки на контрольное мероприятие по уважительной причине студент вправе по согласованию с преподавателем выполнить его в дополнительное время. Для студентов, получивших неудовлетворительные оценки за контрольные мероприятия, либо не явившихся по неуважительной причине, по согласованию с преподавателем и с разрешения заведующего кафедрой мероприятие может быть проведено повторно.

Тесты проводятся в письменной форме и включают в себя 20 вопросов. На выполнение работ отводится 90 мин. При подготовке ответа могут использо-



ваться справочные пособия. Оценка результатов контрольной работы проводится по десятибалльной шкале.

Защита реферативных работ проводится в форме индивидуальных выступлений-презентаций с последующей дискуссией. Оценка рефератов проводится по десятибалльной шкале.

Оценка текущей успеваемости рассчитывается как среднее оценок за письменный тест и оценки за защиту реферата.

Текущая аттестация по учебной дисциплине проводится в форме экзамена.

Оценка экзамена и оценка текущей успеваемости служат для определения рейтинговой оценки по дисциплине, которая рассчитывается как средневзвешенная оценка текущей успеваемости и оценки экзамена. Рекомендуемые весовые коэффициенты для оценки текущей успеваемости — 0,4; для оценки экзамена — 0,6.

### **Методика формирования итоговой оценки**

Итоговая оценка формируется на основе:

1. Правил проведения аттестации студентов (Постановление Министерства образования Республики Беларусь №53 от 29 мая 2012 г.);
2. Положения о рейтинговой системе оценки знаний по дисциплине в БГУ (Приказ ректора БГУ от 18.08.2015 №382-ОД);
3. Критериев оценки знаний студентов (письмо Министерства образования от 22.12.2003 г.)

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ  
ПО ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ  
С ДРУГИМИ ДИСЦИПЛИНАМИ СПЕЦИАЛЬНОСТИ

Название дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы по изучаемой учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Кристаллография и дефекты в кристаллах	Кафедра физики твердого тела	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте протокол № <u>  12  </u> от <u>  27  </u> . <u>  06  </u> . <u>  2018  </u>

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ  
ПО ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ  
на \_\_\_\_ / \_\_\_\_ учебный год

№ № ПП	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры  
физики твердого тела  
(протокол № \_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.)

Заведующий кафедрой  
физики твердого тела  
д.ф.-м.н., профессор

\_\_\_\_\_ В.В. Углов

УТВЕРЖДАЮ  
Декан физического факультета БГУ  
д.ф.-м.н., профессор

\_\_\_\_\_ В.М. Анищик